

# بررسی اثر پلاسمای سرد بر جوانه‌زنی بذر نخود و تغییرات رنگ آن با استفاده از مدل فازی عصبی

محسن فریدونی<sup>a</sup>، حسین حاجی آقا علیزاده<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

<sup>b</sup> دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹

DOI:10.30495/jftn.2022.62685.11148

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱

<https://doi.net/dor/20.1001.1.20080123.1401.19.4.1.8>

۵

## چکیده

**مقدمه:** امروزه فناوری‌های مختلفی در حوزه کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فناوری پلاسما یکی از روش‌هایی است که می‌تواند جوانه‌زنی را بدون صدمه جانبی به بذر بهبود بخشد. در این مقاله، هدف بررسی تأثیر پلاسمای سرد بر پایه تخلیه کرونا بر جوانه‌زنی ارقام نخود عادل، منصور و آزاد است.

**مواد و روش‌ها:** نمونه‌های پیش‌تیمار با پلاسمای سرد به مدت ۳۰ و ۶۰ ثانیه به همراه نمونه‌های شاهد در شرایط یکسان برای جوانه‌زنی و ارزیابی تغییرات رنگ مورد بررسی قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد بذره‌های ارقام عادل و آزاد در تیماردهی ۳۰ ثانیه و رقم منصور در تیماردهی ۶۰ ثانیه با پلاسمای سرد، دارای طول ریشه بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد بودند. پس از تجزیه و تحلیل آماری، مشخص شد که طول ریشه در شرایط یکسان، در مدت زمان‌های تیماردهی با پلاسمای سرد، دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ نسبت به شاهد می‌باشد. از طرفی با بررسی مؤلفه‌های شاخص رنگ در نمونه‌های مورد آزمایش، تغییر معنی‌داری در نمونه‌ها مشاهده نگردید. بیشترین تغییرات در نسبت شاخص اختلاف رنگ در نمونه‌های رقم عادل دارای مواجهه ۶۰ ثانیه با پلاسمای سرد نسبت به نمونه‌های دارای ۳۰ ثانیه مواجهه به میزان ۱/۴۸٪ محاسبه گردید. همچنین برای مشاهده تغییرات رنگ نمونه‌ها در اثر پلاسما، مدل درجه سوم در محیط فازی عصبی در ۸ ناحیه طراحی گردید که تغییرات جزئی رنگ را پس از یادگیری، با خطای کمتر از ۰/۰۱ نمایش داد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد استفاده از تیمار پلاسمای سرد می‌تواند بدون ایجاد عوارض جانبی بر جوانه‌زنی و بهبود رشد اولیه بذر نخود مؤثر باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پلاسمای سرد، جوانه‌زنی، رنگ، مدل‌سازی، نخود

## مقدمه

در حال حاضر فناوری‌های مختلفی در رشته‌های مختلف کشاورزی وارد شده است. یکی از فناوری‌های به کار رفته در بهبود رشد گیاه، استفاده از پلاسما سرد است. مطالعات مختلفی در مورد تأثیر پلاسما بر جوانه‌زنی بذور انجام شده است. در یک مطالعه، تیمار پلاسما سرد برای بهبود جوانه‌زنی و افزایش محتوای فیتوشیمیایی<sup>۱</sup> زیستی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده بررسی شد. در این تحقیق، پس از تیمار بهینه پلاسما، شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ارتفاع ساقه‌چه به ترتیب ۸۴٪، ۵۷٪ و ۶۹٪ افزایش یافتند (Yodpitak *et al.*, 2019). در مطالعه دیگری به منظور بررسی دقت مدل حرارتی-زمانی در جوانه‌زنی ۵ گونه متداول از پوشش گیاهی مناطق وحشی، دمای سطح خاک و پتانسیل رطوبتی آن اندازه‌گیری گردید و داده‌ها برای پیش‌بینی جوانه‌زنی بذور در رگرسیون لگاریتمی مورد پردازش قرار گرفتند. مدل حرارتی مرطوب، جوانه‌زنی بذور را در اواخر زمستان تا اواسط بهار با دقت ۷۵٪ تا ۹۵٪ و در پاییز تا اوایل زمستان با دقت ۵۰٪ تا ۷۱٪ به درستی پیش‌بینی کرد (Rawlins *et al.*, 2012). برای پیش‌بینی جوانه‌زنی در کلزا از مدل ریاضی رگرسیون نمایی استفاده شد. مدل‌های توسعه‌یافته جوانه‌زنی کلزا را تحت هر شرایط نگهداری پیش‌بینی کردند. مدل‌ها تغییرات جوانه‌زنی بذور را در شرایط مزرعه بیش از ۹۶٪ بیان کردند. دقت پیش‌بینی مدل‌ها در شرایط مزرعه‌ای از شرایط آزمایشگاهی بیشتر بود (Jian *et al.*, 2014). در تحقیقی، طراحی و بحث در مورد فناوری پلاسما سرد اتمسفری همگن مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی، به جای استفاده از الکتروود سوزنی با شعاع انحنای کوچک، از الکتروود دوقلو با لبه تیز استفاده گردید. پلاسما سرد اتمسفری از طریق میدان متغیر باعث افزایش تخلیه کرونا نسبت به سد دی‌الکترون برای کاربردهای مختلف گردید (Khamseen *et al.*, 2016). میدان الکترونیکی پالسی و پلاسما سرد غیرحرارتی از نظر ظرفیت از بین بردن لژیونلا<sup>۲</sup> و پنوموفیلا<sup>۳</sup> در آب مورد ارزیابی قرار گرفتند. تیمار پلاسما سرد کرونا با ولتاژ ۸۰ کیلوولت برای مدت زمان ۱۲/۵ دقیقه منجر به از بین بردن کامل لژیونلا گردید. بنابراین برای

پالس‌های کوتاه ولتاژ بالا، تخلیه کرونای پالسی مؤثرتر است (Banaschik *et al.*, 2016). توسعه سیستم پلاسما سرد کرونا با کنترل خودکار برای غیرفعال کردن پاتوژن‌ها در محیط کشت هیدروپونیک گوجه فرنگی بررسی شد. در این تحقیق، یک سیستم تصفیه محلول غذایی با استفاده از پلاسما سرد کرونا برای استفاده عملی در هیدروپونیک توسعه یافته است. در این سیستم از سامانه گاز مایع جداگانه و یک منبع تغذیه ولتاژ بالا بر پایه افزایش ۲۰ کیلوهرتز استفاده شد که موجب افزایش بازده انرژی و کاهش هزینه اولیه گردید. نتایج نشان داد که محلول غذایی پس از ۸ روز تیمار با پلاسما سرد، به طور کامل فاقد آلودگی گردید (Takahashi *et al.*, 2018). پیش‌تیمار پلاسما سرد باعث بهبود جوانه‌زنی مارچوبه وحشی شد. پیش‌تیمار پلاسما سرد در مواجهه به مدت زمان ۱ دقیقه، جذب آب توسط بذور را افزایش داده و جوانه‌زنی را تا ۱۵٪ افزایش داد و زمان رسیدن به نصف حداکثر درصد جوانه‌زنی را ۵ روز کاهش داد (Porto *et al.*, 2019). اثر پلاسما سرد غیرحرارتی بر متغیرهای جوانه‌زنی بذرهای سویا بررسی شد. بذور سویا به مدت ۱، ۲ و ۳ دقیقه با پلاسما سرد دی‌الکترونیک در فشار اتمسفری و فرکانس ۵۰ هرتز مواجهه داده شدند. نتایج کاهش ۲۹٪ در فعالیت کاتالاز<sup>۴</sup> و افزایش ۳۰٪ در محتوای گلوتاتیون<sup>۵</sup> را پس از تیمار پلاسما نشان داد که آسیب اکسیداتیو ناشی از قارچ<sup>۶</sup> را معکوس کرد. مواجهه بذور سویا با تیمار پلاسما باعث افزایش کیفیت آن‌ها از نظر سلامت، جوانه‌زنی و بنیه بذور گردید (Piza *et al.*, 2018). تغییر خصوصیات آرد گندم و شاخص‌های رنگی در مواجهه با پلاسما سرد بر پایه سد دی‌الکترونیک مورد بررسی قرار گرفت. مواجهه با پلاسما سرد دی‌الکترونیک در مدت زمان ۵ تا ۳۰ دقیقه در ۸۰ کیلوولت، تغییراتی را در آرد گندم و خواص هیدراتاسیون آرد ایجاد کرد ولی تجزیه و تحلیل انجام شده، هیچ تغییری در پروتئین‌های گندم پس از تیمار پلاسما نداشت (Chaple *et al.*, 2020). ارتباط خصوصیات ژنتیکی بذر دانه گندم با شکل و صفات رنگی آن با استفاده از شاخص‌های رنگی مورد مطالعه قرار گرفت. شاخص‌های رنگی بذور گندم دوروم<sup>۷</sup> با استفاده از پردازش تصویر

<sup>1</sup> Phytochemicals    <sup>2</sup> Legionella    <sup>3</sup> Pneumophila  
<sup>7</sup> Durum Wheat

<sup>4</sup> Catalase    <sup>5</sup> Glutathione    <sup>6</sup> Diaporthe/Phomopsis

اتفاق می‌افتد. فقط تعداد کمی از مولکول‌های گاز در فرآیند بهمن الکترونی شرکت کرده و یونیزه می‌شوند، و دارای انرژی نزدیک به انرژی یونیزاسیون هستند. دمای بقیه گازهای اطراف آن نزدیک به دمای محیط است. تخلیه کرونا، پلاسمای غیرتعادلی یونیزه ضعیف و مبتنی بر فرآیند بهمن الکترونی است. تصویر سامانه بر پایه تخلیه کرونا در شکل ۱ نشان داده شده است.

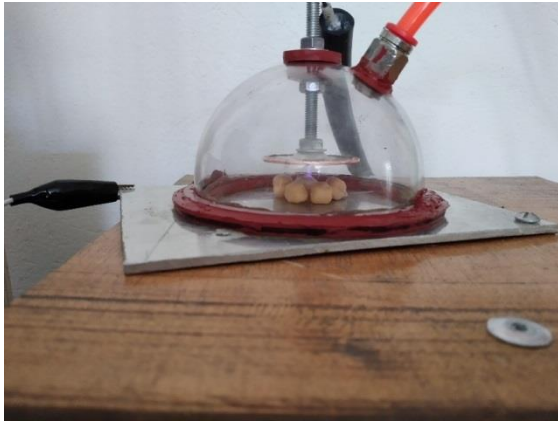


Figure 1- Image of cold plasma system based on corona discharge

شکل ۱- تصویر سامانه پلاسمای سرد بر پایه تخلیه کرونا

۷

این سامانه به نحوی طراحی شده است که ولتاژ ۲۲۰ ولت شهری با فرکانس ۵۰ هرتز را به ولتاژ ۱۲ کیلوولت با فرکانس ۹ کیلوهرتز تغییر می‌دهد. دو الکتروود نیز با فاصله ۲ سانتی‌متر از یکدیگر در محفظه خلاء با فشار منفی ۲۰ پوند بر اینچ مربع قرار گرفته‌اند و نمونه‌ها در بین دو الکتروود قرار می‌گیرند.

#### - آماده‌سازی نمونه‌ها برای جوانه‌زنی

هر واحد آزمایشی از ۲۵ نمونه به طور کاملاً تصادفی از رقم‌های نخود عادل، منصور و آزاد تهیه شد. سپس جوانه‌زنی نمونه‌ها تحت تأثیر پلاسمای سرد بررسی گردید. برای این منظور، طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی اجرا شد. فاکتور رطوبت مواجهه در دو سطح خشک و مرطوب، فاکتور ارقام بذر در سه سطح و فاکتور مدت زمان تیماردهی با پلاسمای در سه سطح ۰، ۳۰ و ۶۰

دیجیتال و بر مبنای استاندارد بین‌المللی<sup>۱</sup> اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین واحدهای آزمایش برای صفات مورد بررسی وجود دارد (Alemu *et al.*, 2020). ارتباط تغییرات رنگ و محتوای آنتی‌اکسیدانی گوجه فرنگی مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایش دو رقم گوجه فرنگی برش داده شد و به مدت ۲۰ دقیقه در مخلوط‌های روغن زیتون و سرکه سفید و به طور جداگانه خیسانده شده و با استفاده از استاندارد بین‌المللی، رنگ دو رقم پس از فرآوری تغییراتی نشان نداد ولی در تیمار جداگانه به طور معنی‌داری تیره‌تر و قرمزتر شدند (Sahlin *et al.*, 2004). در بررسی ارتباط رنگ و رنگدانه آنتوسیانین در توت فرنگی، نمونه‌ها تحت روش‌های ارگانیک و مرسوم کشت شدند. در تحلیل شاخص‌های رنگی بر اساس استاندارد بین‌المللی، تمامی شاخص‌های رنگی معنی‌دار شدند و رنگ میوه‌های ارگانیک، تیره‌تر تشخیص داده شد (Crecente *et al.*, 2012). اما تاکنون تحقیقی برای بررسی تأثیر پلاسمای سرد بر جوانه‌زنی و تغییرات رنگ نخود انجام نشده است. از آنجایی که یکی از ملاحظات مهم در بکارگیری فناوری‌های جدید، بهبود شرایط موجود با کمترین عوارض جانبی می‌باشد، بنابراین در این پژوهش، تأثیر پلاسمای سرد بر پایه تخلیه کرونا و سد دی‌الکترونیک بر جوانه‌زنی و تغییرات رنگ قبل از جوانه‌زنی در ارقام نخود عادل، منصور و آزاد بررسی شد.

#### مواد و روش‌ها

##### - سامانه‌های پلاسمای سرد مورد استفاده

تخلیه کرونا زمانی ایجاد می‌شود که ناهمگنی مکانی در میدان الکتریکی ایجاد شود، به ویژه هنگامی که میدان الکتریکی از یک آستانه شکست در یک منطقه محدود فراتر رود (Misra *et al.*, 2016). این امر معمولاً هنگامی اتفاق می‌افتد که از الکتروودهای بسیار نامتقارن مانند نقطه و صفحه استفاده شود (Kuwahara *et al.*, 2012). از نظر ترمودینامیکی، کرونا یک فرآیند غیرتعادلی است و یک پلاسمای غیرحرارتی ایجاد می‌کند. این فرآیند، انرژی کافی را برای گرم کردن گاز در منطقه کرونا و یونیزه کردن آن آزاد نمی‌کند، همانطور که در یک قوس الکتریکی یا جرقه

<sup>1</sup> CIE

بررسی اثر پلاسمای سرد بر جوانه‌زنی بذر نخود و تغییرات رنگ آن با استفاده از مدل فازی عصبی

روابط تبدیل مؤلفه‌ها در این فضاها به صورت زیر بیان می‌گردد (Gonzalez *et al.*, 2002):  
در فضای رنگی هانترب:

$$l = 100 \left( Y/Y_n \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$a = \frac{ka \left( \frac{X}{X_n} - \frac{Y}{Y_n} \right)}{\left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

$$b = \frac{kb \left( \frac{Y}{Y_n} - \frac{Z}{Z_n} \right)}{\left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

در فضای رنگی CIE  $l^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ :

$$l^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (4)$$

$$a^* = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (5)$$

$$b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (6)$$

اختلاف رنگ بین نمونه‌های مورد آزمایش، بر اساس معادله  $\Delta E_{ab}$  محاسبه شده است (Chaple *et al.*, 2020):

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(l_2^* - l_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (7)$$

که در آن

$l$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $l^*$ ,  $a^*$  و  $b^*$ : مؤلفه‌های روشنایی، قرمزی و زردی در مقیاس رنگ‌سنجی می‌باشد.  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  مؤلفه‌های مقیاس CIE XYZ و  $X_n$ ,  $Y_n$  و  $Z_n$  سه مقدار رنگ اولیه برای رنگ سفید هستند.  $k_a$  و  $k_b$  هم ضرایب ثابت هستند.  $l_1^*$ ,  $a_1^*$  و  $b_1^*$ : به ترتیب مؤلفه‌های روشنایی، قرمزی و زردی قبل از تیماردهی و  $l_2^*$ ,  $a_2^*$  و  $b_2^*$ : مؤلفه‌های روشنایی، قرمزی و زردی پس از تیماردهی هستند.  $\Delta E_{ab}$  نیز شاخص اختلاف رنگ محاسبه شده است. فضای رنگ هانترب، یک فضای مستطیلی شکل سه بعدی است که بر اساس تئوری رنگ‌های مخالف ساخته

ثانیه و در ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تیماردهی مرطوب با پلاسما، سطح نمونه‌ها قبل از تیماردهی، با آب مرطوب گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. بلافاصله پس از تیماردهی نمونه‌ها با پلاسما سرد، آزمایش رنگ‌سنجی نیز بر روی نمونه‌ها انجام شد. در این آزمایش از دستگاه رنگ‌سنج (مدل Hp-C210 چین) استفاده گردید. در آن مؤلفه‌های شاخص رنگ نمونه‌ها شامل روشنایی، سیری و چرذگی در مقیاس رنگ استاندارد<sup>۱</sup> و در فضاهای رنگی<sup>۲</sup> مختلف اندازه‌گیری، و مقایسه اختلاف میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار انجام شد.



Figure 2- Colorimeter used in the experiment  
شکل ۲- دستگاه رنگ‌سنج مورد استفاده در آزمایش

در بررسی‌های به‌عمل آمده و مقایسه سه فضای رنگی<sup>۳</sup>، بهترین فضای رنگی برای بررسی کیفیت محصولات غذایی پیشنهاد گردید (Mendoza *et al.*, 2006).

<sup>1</sup> CIE. International Commission on Illumination

<sup>3</sup> RGB, HSV,  $l^*a^*b^*$

<sup>2</sup> Hunter  $l$ ,  $a$ ,  $b$  and CIE  $l^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$

جهت استفاده در مراحل بعدی مدل سازی استخراج گردید. با توجه به شرایط متنوع آزمایش، ۸ ناحیه فازی برای این بررسی تعریف گردید که مشخصات هر یک از نواحی در شکل ۴ نمایش داده شده است.

در این روش پس از دریافت داده های ورودی، ضمن ایجاد شبکه و لایه های پنهان، قواعد و ضرایب وزنی به داده ها اعمال گردیده و پس از یادگیری<sup>۱</sup>، مدل مورد آزمایش<sup>۲</sup> قرار می گیرد. نمونه شبکه ایجاد شده در این مدل در شکل ۵ نشان داده شده است. رنگ های آبی در گره ها بیانگر عملگر منطقی عطف می باشد.

شده است. مقادیر مثبت در اختلاف محاسبه شده بیانگر روشن تر بودن نمونه نسبت به حالت استاندارد است و بالعکس.

### - مدل سازی فازی عصبی در بررسی تغییرات رنگی در نمونه ها

در این مدل شاخص اختلاف رنگ را بر اساس مؤلفه های قرائت شده از نمونه ها در شرایط مختلف آزمایش نسبت به نمونه های شاهد محاسبه کرده و در ابتدا منحنی درجه سوم را بین داده ها برازش نموده و معادله منحنی

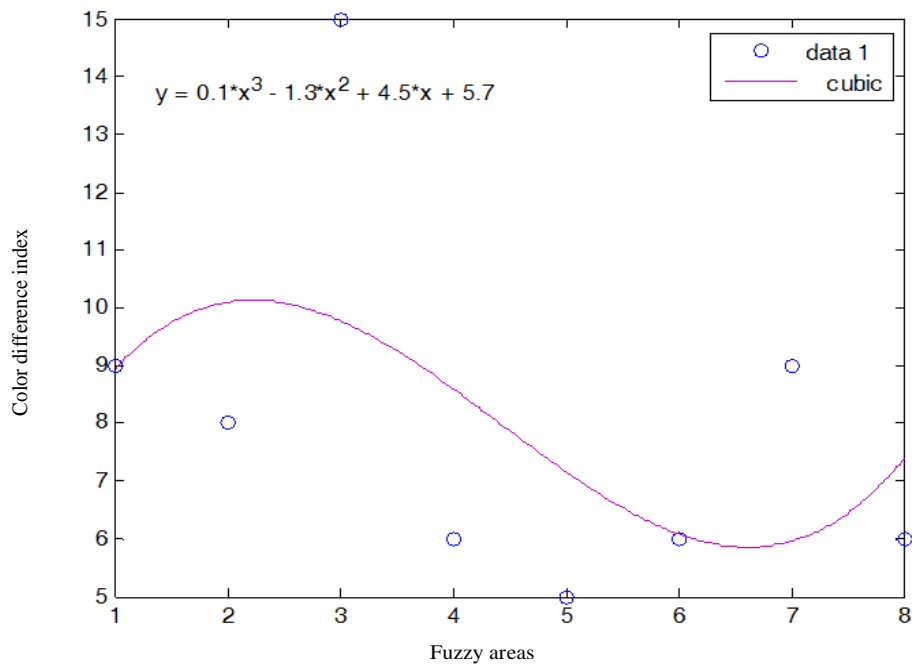


Figure 3- Fitting the third degree curve to the sample color difference index data

شکل ۳- برازش منحنی درجه سوم بر داده های شاخص اختلاف رنگ نمونه ها

Phase 1:	Phase 2:	Phase 3:	Phase 4:	Phase 5:	Phase 6:	Phase 7:	Phase 8:
Dry sample	Dry sample	Dry sample	Dry sample	Wet sample	Wet sample	Wet sample	Wet sample
Corona	Corona	Dielectric	Dielectric	Corona	Corona	Dielectric	Dielectric
method	method	method	method	method	method	method	method
Exposure 30 seconds	Exposure 60 seconds	Exposure 30 seconds	Exposure 60 seconds	Exposure 30 seconds	Exposure 60 seconds	Exposure 30 seconds	Exposure 60 seconds

Figure 4- View the profile of different fuzzy regions

شکل ۴- نمایش مشخصات نواحی مختلف فازی

<sup>۱</sup> Training

<sup>۲</sup> Testing

## یافته‌ها

- جوانه‌زنی بر اساس متغیر زمان مواجهه با پلاسما تجزیه واریانس صفت طول ریشه در بذر نخود نسبت به زمان مواجهه با پلاسمای سرد در جدول ۱ صورت گرفته است. همچنین ارتباط متوسط طول ریشه با مدت زمان مواجهه با پلاسمای سرد، پس از ۴۸ ساعت نگهداری نمونه‌ها در شرایط جوانه‌زنی در شکل ۶ نشان داده شده است.

مقادیر مؤلفه‌های مقیاس رنگ‌سنجی در مورد بذرهای سه رقم نخود عادل، منصور و آزاد در جدول ۲ ارائه شده است:  
نتایج تجزیه واریانس مؤلفه‌های رنگ نمونه‌های مورد آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر محاسبه شده در ستون‌های شاخص و سطح معنی‌داری، اختلاف معنی‌داری در رنگ نمونه‌ها در اثر مواجهه با پلاسما مشاهده نگردید.

## - رنگ بذور در مواجهه با پلاسمای سرد

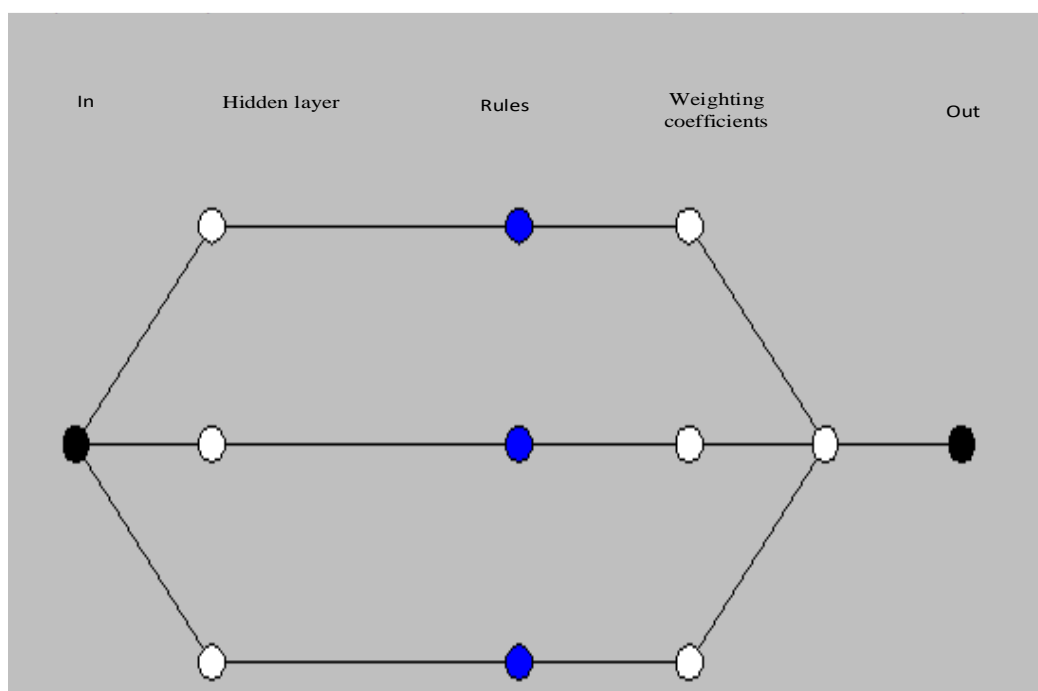


Figure 5- Display the network created in the model used

شکل ۵- نمایش شبکه ایجاد شده در مدل مورد استفاده

جدول ۱- تجزیه واریانس صفت طول ریشه‌چه در آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی

Table 1- Comparison of mean root length of chickpea seeds with time of exposure to cold plasma

Treatment	df	Mean Square
Exposure	2	1840.097**
Moisture	1	142.617**
Variety	2	1594.727**
Exposure * Moisture	2	1198.103**
Exposure * Variety	4	186.005**
Moisture * Variety	2	249.659**
Exposure * Moisture * Variety	4	22.534**
Error	36	2.001
CV (%)		10.90

\*\*. Significant difference at level % 1

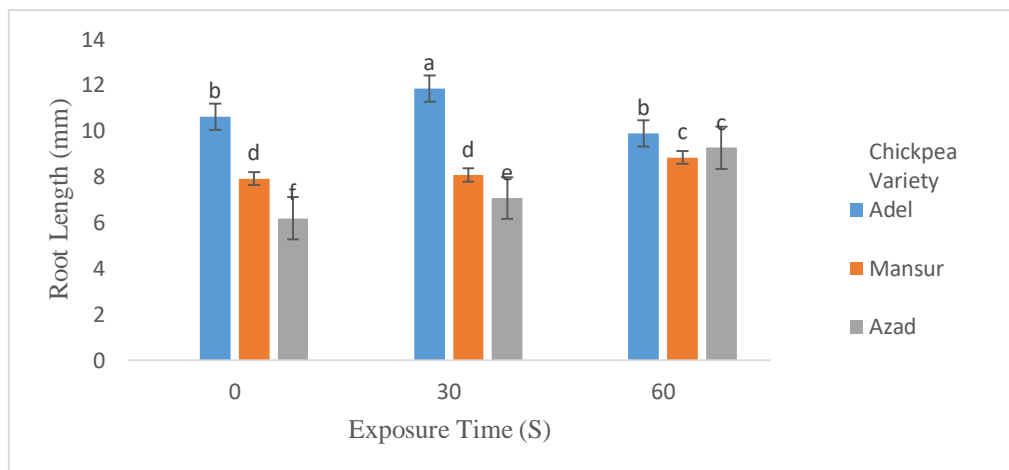


Figure 6- Correlation of mean root length with plasma exposure time

The different letters are significantly different ( $p < 0.05$ )

شکل ۶- ارتباط میانگین طول ریشه با مدت زمان مواجهه با پلاسما

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر مؤلفه‌های مقیاس رنگ‌سنجی برای ارقام نخود مورد آزمایش

Table 2- Colourimetric scale component values for chickpea varieties tested

	l			a			b		
	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min
Adel	76.87	69.77	59.70	15.68	10.77	7.68	39.61	23.92	13.46
Mansur	75.40	71.79	56.75	12.64	9.83	8.07	42.57	25.75	14.71
Azad	76.82	69.97	58.76	17.20	11.89	7.71	39.22	26.19	16.56

جدول ۳- تجزیه واریانس مؤلفه‌های رنگ در نمونه‌های مورد آزمایش

Table 3- Analysis of variance of colour components in the tested samples

		Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
l	Between Groups	37.262	2	18.631	1.120	0.330
	Within Groups	1745.904	105	16.628		
	Total	1783.166	107			
a	Between Groups	1.114	2	0.557	0.150	0.861
	Within Groups	390.070	105	3.715		
	Total	391.183	107			
b	Between Groups	12.817	2	6.409	0.93	0.911
	Within Groups	7232.923	105	68.885		
	Total	7245.741	107			
c	Between Groups	15.007	2	7.503	0.130	0.878
	Within Groups	6060.371	105	57.718		
	Total	6075.377	107			
h	Between Groups	10.203	2	5.102	0.094	0.910
	Within Groups	5707.986	105	54.362		
	Total	5718.190	107			

یکی از عوامل اصلی در بررسی کیفیت محصولات کشاورزی، رنگ آن‌ها می‌باشد. بنابراین تغییر رنگ در اثر یک فرآیند، می‌تواند به عنوان یک عارضه جانبی محسوب شود. بر اساس شکل ۷ نیز کمترین تغییرات در روشنایی

ولیکن اختلاف رنگ در اثر تغییر نوع رقم نخود دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشد که مقایسه ارقام با یکدیگر با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار انجام گردید و نتایج در جدول ۴ نشان داده شده است.

بررسی اثر پلاسمای سرد بر جوانه‌زنی بذر نخود و تغییرات رنگ آن با استفاده از مدل فازی عصبی

هشت‌گانه ایجاد گردید که به صورت نمودار نقطه‌ای در شکل ۸ نشان داده شده است. در این نمودار محور افقی نواحی هشت‌گانه فازی بر اساس میزان رطوبت، روش تولید پلاسما و زمان مواجهه قرار گرفته است و در محور عمودی میزان شاخص اختلاف رنگ قرار دارد و موقعیت نقطه‌ها پراکنش داده‌ها را نشان می‌دهد.

نمونه‌ها در مواجهه با پلاسمای سرد مشاهده می‌شود. در شکل‌های ۸ و ۹ نیز به ترتیب تغییرات در میزان قرمزی و زردی نمونه‌های مورد آزمایش نشان داده شده است. با استفاده از معادله ریاضی استخراج شده از رفتار داده‌ها در اختلاف رنگ نمونه‌های دارای مواجهه با پلاسما نسبت به نمونه‌های شاهد، داده‌های تصادفی در بازه نواحی

جدول ۴- مقایسه میانگین مؤلفه‌های رنگ در نمونه‌های مورد آزمایش  
Table 4- Mean comparison of colour components in the tested samples

Dependent Variable	Variety (I)	Variety (J)	Mean Difference (I-J)	Standard Error	Sig.
l	Adel	Mansur	-2.01611	0.94680	0.36
		Azad	-0.19778	0.94680	0.835
	Mansur	Adel	2.01611*	0.94680	0.36
		Azad	1.81833	0.94680	0.58
	Azad	Adel	0.19778	0.94680	0.835
		Mansur	-1.81833	0.94680	0.58
a	Adel	Mansur	0.93083*	0.40779	0.24
		Azad	-1.13278*	0.40779	0.006
	Mansur	Adel	-0.93082*	0.40779	0.024
		Azad	-2.06361*	0.40779	0.000
	Azad	Adel	1.13278*	0.40779	0.006
		Mansur	2.06361*	0.40779	0.000
b	Adel	Mansur	-1.83222	1.94386	0.348
		Azad	-2.26667	1.94386	0.246
	Mansur	Adel	1.83222	1.94386	0.348
		Azad	-0.43444	1.94386	0.824
	Azad	Adel	2.26667	1.94386	0.246
		Mansur	0.43444	1.94386	0.824

۱۲

\*. Significant difference at level %5

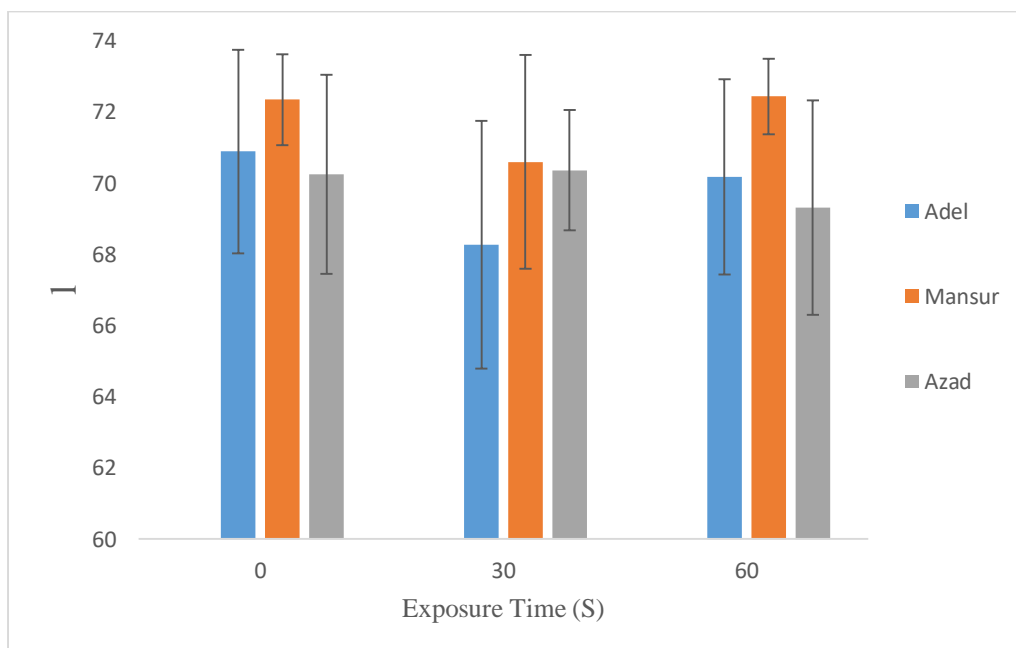


Figure 7- Comparison of color changes of the brightness component in the face of cold plasma

شکل ۷- مقایسه تغییرات رنگی مؤلفه روشنایی در مواجهه با پلاسمای سرد



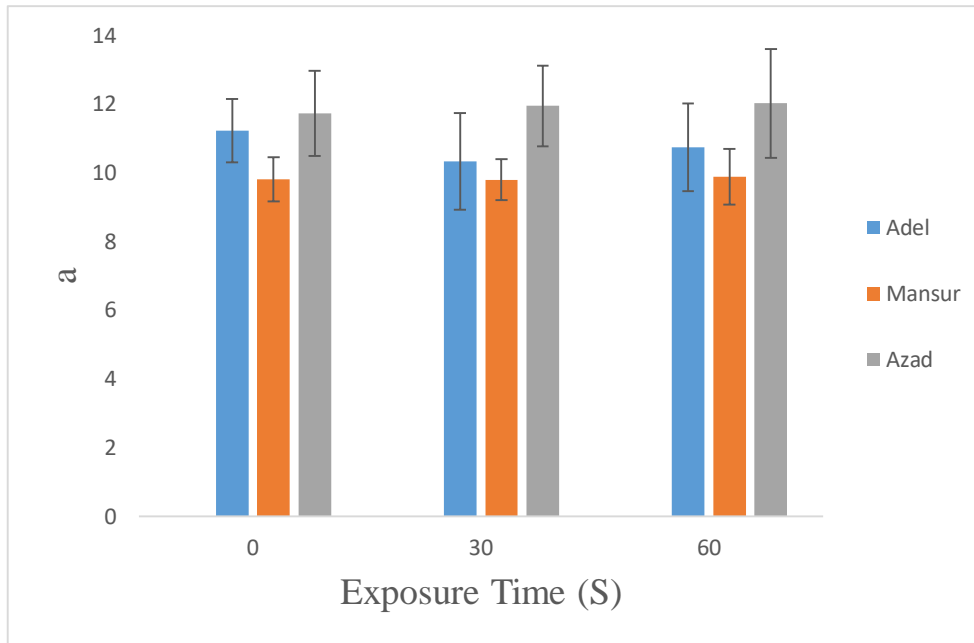


Figure 8- Comparison of color changes of the red component in the face of cold plasma  
 شکل ۸- مقایسه تغییرات رنگی مؤلفه قرمزی در مواجهه با پلاسمای سرد

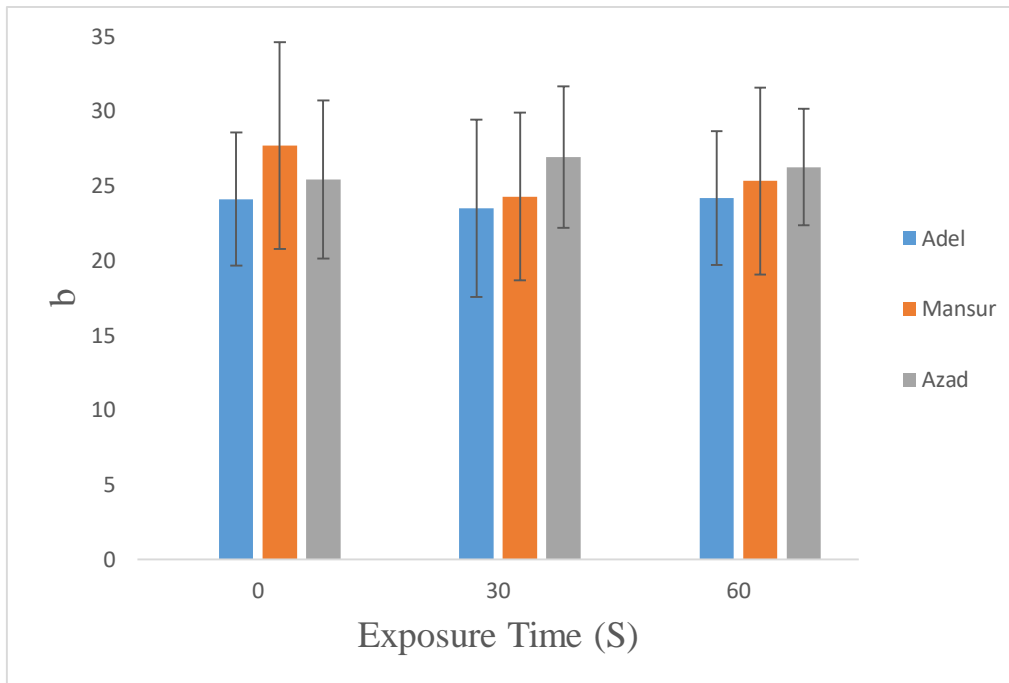


Figure 9- Comparison of color changes of the yolk component in the face of cold plasma  
 شکل ۹- مقایسه تغییرات رنگی مؤلفه زردی در مواجهه با پلاسمای سرد

شده نسبت به خروجی مقادیر واقعی دارای خطای کمتر از ۰/۰۱ محاسبه گردید. نمایش گرافیکی اختلاف مدل با مقادیر واقعی نیز در شکل ۹ نشان داده شده است.

پس از بارگذاری داده‌های تصادفی در مدل تعریف شده، وارد مرحله یادگیری برای مدل انجام گرفت. در نهایت نیز آزمون اعتبار سنجی صورت گرفت که خروجی مدل تعریف

بررسی اثر پلاسمای سرد بر جوانه‌زنی بذر نخود و تغییرات رنگ آن با استفاده از مدل فازی عصبی

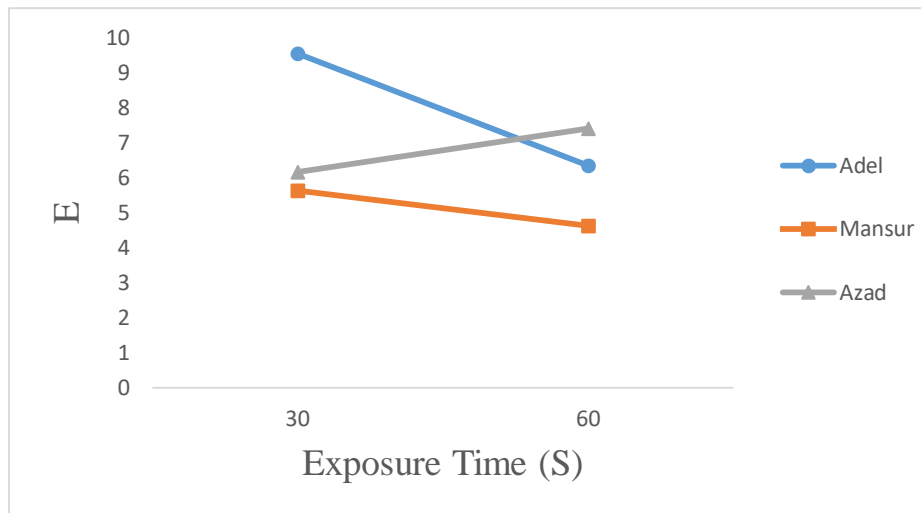


Figure 10- Display changes in color differences of samples versus exposure time  
شکل ۱۰- نمایش تغییرات اختلاف رنگ نمونه‌ها در مقابل زمان مواجهه

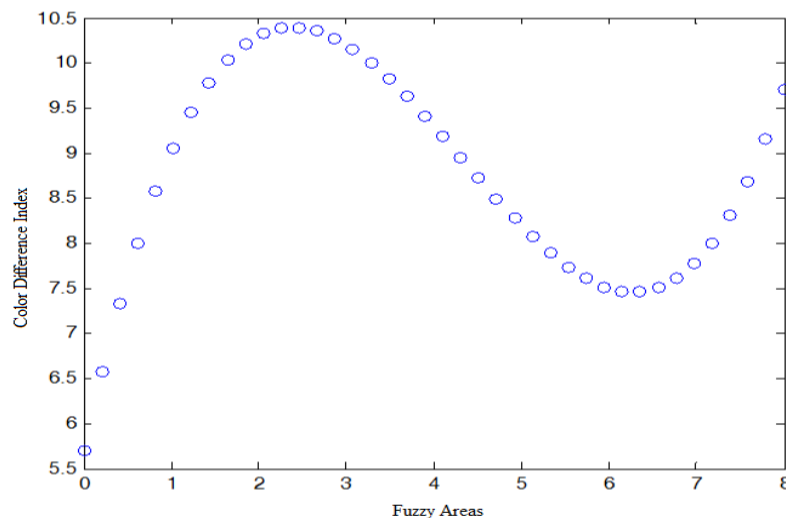


Figure 11- Enter random data in the defined model to learn the model  
شکل ۱۱- وارد کردن داده‌های تصادفی در مدل تعریف شده برای یادگیری مدل

محصول پرمصرف نخود با استفاده از فناوری پلاسمای سرد و بدون ایجاد عوارض جانبی مورد توجه بوده است. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، متوسط طول ریشه پس از ۴۸ ساعت نگهداری نمونه‌ها در شرایط جوانه‌زنی، در مدت زمان ۳۰ ثانیه تیماردهی با پلاسمای سرد، در ارقام عادل و آزاد بیشترین مقدار را دارد. مواجهه با پلاسما به مدت ۳۰ ثانیه، طول ریشه را در بذره‌های رقم عادل ۱۲٫۵٪ افزایش داد. در رقم آزاد، طول ریشه ۱۸٪ افزایش یافته است.

در محیط‌های کشاورزی، جوانه‌زنی کم و آهسته می‌تواند حساسیت بوته‌ها را به عوامل بیماری‌زا افزایش دهد، بلوغ را به تأخیر بیندازد و عملکرد را کاهش دهد (Schwinghamer *et al.*, 2015). از آنجا که ذخیره کافی مواد مغذی برای رشد بذر ضروری است، افزایش متوسط طول ریشه به دلیل پلاسمای سرد می‌تواند باعث افزایش جذب و نفوذ ذخیره مواد مغذی به بذر شود. بنابراین احتمال تبدیل بذره‌های بیشتری به گیاه و تولید محصول نیز افزایش می‌یابد. در این تحقیق، افزایش کیفیت جوانه‌زنی

بحث

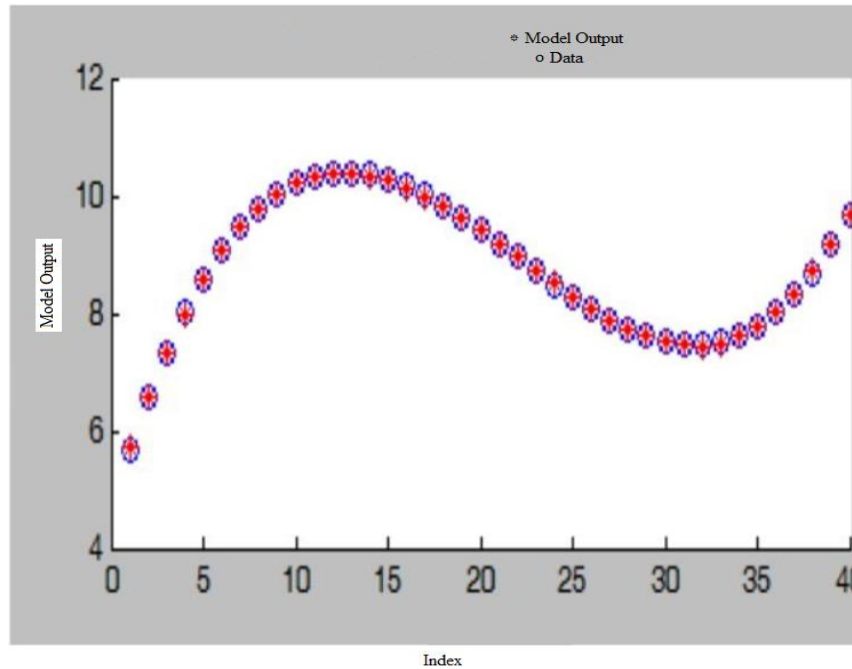


Figure 12- Validation of neural fuzzy model with minimal error  
 شکل ۱۲- نمایش اعتبارسنجی مدل فازی عصبی با حداقل خطا

گرفته است. همانگونه که پلاسمای سرد بر خشک شدن و تغییر رنگ گل سرخ مؤثر بوده است ( Zhou *et al.*, 2020). همچنین تیمار پلاسمای سرد بر پایه سدیدی الکترونیک نیز در تسریع اکسیداسیون چربی گوشت گاو برای نگهداری و تغییرات رنگ آن مؤثر بوده است (Wang *et al.*, 2021).

### نتیجه گیری

در این پژوهش، شرایط تأثیرپذیری ارقام نخود عادل، منصور و آزاد از پلاسمای سرد در دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. در حالت اول، تغییرات جوانه‌زنی بذر نخود در اثر پلاسمای سرد بررسی گردید و نتایج نشان داد که طول ریشه ارقام نخود مورد آزمایش در شرایط یکسان، در طول مدت زمان‌های تیماردهی با پلاسمای سرد، دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ نسبت به شاهد است. در حالت دوم اثر پلاسمای سرد بر ایجاد تغییرات رنگ در بذرهای نخود مورد آزمایش قرار گرفت. در این حالت علیرغم وجود اختلاف رنگ معنی‌دار در ارقام مختلف نخود مورد آزمایش، اختلاف معنی‌داری در اثر اعمال پلاسمای سرد در نمونه‌ها مشاهده نگردید. از طرفی مدل‌سازی فازی عصبی نیز در این خصوص انجام گرفت و با ایجاد ۸ ناحیه فازی، عملکرد

در زمینه اثر پلاسمای سرد بر جوانه‌زنی محصولات مختلف، پژوهش‌های متعددی انجام شده است. در بررسی اثر پلاسمای سرد بر جوانه‌زنی سویا، علت اصلی افزایش جوانه‌زنی، افزایش آبدوستی ناشی از تغییرات سطحی بذر تشخیص داده شده است. در این پژوهش، اثر پلاسمای سرد سبب افزایش جوانه‌زنی به میزان ۱۴٫۶۶٪ و افزایش آبدوستی بذر به میزان ۱۴٫۰۳٪ شده است ( Porto *et al.*, 2019).

بر اساس جدول ۳، تجزیه واریانس داده‌های شاخص رنگی نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین رنگ نمونه‌ها در اثر مواجهه با پلاسمای سرد مشاهده نشده است. از طرفی با توجه به شکل شماره ۱۰ اختلاف رنگ جزیی نمونه‌ها نسبت به شاهد که با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شده است، در حالت مواجهه ۶۰ ثانیه با پلاسمای سرد نسبت به حالت ۳۰ ثانیه مواجهه در ارقام عادل و منصور کمتر است. رقم آزاد در حالت معمول دارای رنگ سرخ و تیره‌تری نسبت به دو رقم دیگر است، و اختلاف رنگ محاسبه شده نیز پس از مواجهه با پلاسما در جهت عکس دو رقم عادل و منصور است.

با توجه به نتایج اکثر پژوهش‌های انجام گرفته تا کنون، تغییرات رنگ عمدتاً ناشی از تغییرات فرآیند درونی صورت

## منابع

- Porto, C. L., Sergio, L., Boari, F., Logrieco, A. F. & Cantore, V. (2019). Cold plasma pretreatment improves the germination of wild asparagus (*Asparagus acutifolius* L.) seeds. *Scientia Horticulturae*, 256, 108554.
- Mendoza, F., Dejmek, P. & Aguilera, J. M. (2006). Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 285-295.
- Misra, N. N., Schlüter, O. & Cullen, P. J. (2016). Plasma in food and agriculture. Cold plasma in food and agriculture (pp. 1-16). Academic Press.
- Pizá, M.C.P., Prevosto, L., Zilli, C., Cejas, E., Kelly, H. & Balestrasse, K. (2018). Effects of non-thermal plasmas on seed-borne *Diaporthe/Phomopsis* complex and germination parameters of soybean seeds. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 49, 82-91.
- Rawlins, J.K., Roundy, B. A., Egget, D. & Cline, N. (2012). Predicting germination in semi-arid wildland seedbeds II. Field validation of wet thermal-time models. *Environmental and Experimental Botany*, 76, 68-73.
- Sahlin, E., Savage, G. P. & Lister, C. E. (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17(5), 635-647.
- Schwingamer, T., Souleimanov, A., Dutilleul, P. & Smith, D. (2015). The plant growth regulator lipo-chitooligosaccharide (LCO) enhances the germination of canola (*Brassica napus* [L.]). *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(1), 183-195.
- Takahashi, K., Saito, Y., Oikawa, R., Okumura, T., Takaki, K. & Fujio, T. (2018). Development of automatically controlled corona plasma system for inactivation of pathogen in hydroponic cultivation medium of tomato. *Journal of Electrostatics*, 91, 61-69.
- Wang, X., Wang, Z., Zhuang, H., Nasiru, M.M., Yuan, Y., Zhang, J. & Yan, W. (2021). Changes in color, myoglobin, and lipid oxidation in beef patties treated by dielectric barrier discharge cold plasma during storage. *Meat Science*, 176, 108456.
- Zhou, Y. H., Vidyarthi, S. K., Zhong, C. S., Zheng, Z. A., An, Y., Wang, J., Wei, Q. & Xiao, H. W., 2020. Cold plasma enhances drying and color, rehydration ratio and polyphenols of wolfberry via microstructure and ultrastructure alteration. *LWT-Food Science and Technology*, 134, p.110173.
- Alemu, A., Feyissa, T., Tuberosa, R., Maccaferri, M., Sciara, G., Letta, T. & Abeyo, B. (2020). Genome-wide association mapping for grain shape and color traits in Ethiopian durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum). *The Crop Journal*, 8(5), 757-768.
- Banaschik, R., Burchhardt, G., Zoehner, K., Hammerschmidt, S., Kolb, J.F. & Weltmann, K.D. (2016). Comparison of pulsed corona plasma and pulsed electric fields for the decontamination of water containing *Legionella pneumophila* as model organism. *Bioelectrochemistry*, 112, 83-90.
- Chaple, S., Sarangapani, C., Jones, J., Carey, E., Causeret, L., Genson, A., Duffy, B. & Bourke, P. (2020). Effect of atmospheric cold plasma on the functional properties of whole wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and wheat flour. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 102529.
- Crecente-Campo, J., Nunes-Damaceno, M., Romero-Rodríguez, M. A. & Vázquez-Odériz, M. L. (2012). Color, anthocyanin pigment, ascorbic acid and total phenolic compound determination in organic versus conventional strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch, cv Selva). *Journal of Food Composition and Analysis*, 28(1), 23-30.
- Gonzalez, R.C. & Woods, R. E. (2002). Digital image processing.
- Jian, F., Sun, K., Chelladurai, V., Jayas, D.S. & White, N. D. (2014). Quality changes in high and low oil content canola during storage: Part II—Mathematical models to predict germination. *Journal of stored products research*, 59, 328-337.
- Khamsen, N., Akkarachainon, A., Fookiat, K., Srisala, J., Chomchuen, S., Kanokbannakorn, W. & Srisophonphan, S. (2016). Atmospheric Cold Plasma via Fringe Field Enhanced Corona Discharge on Single Dielectric Barrier for Large-volume Applications. *Procedia Computer Science*, 86, 321-324.
- Kuwahara, T., Kuroki, T., Yoshida, K., Saeki, N. & Okubo, M. (2012). Development of sterilization device using air nonthermal plasma jet induced by atmospheric pressure corona discharge. *Thin Solid Films*, 523, 2-5.



# Effect of Cold Plasma on Chickpea Seed Germination and Its Color Changes Using Neural Fuzzy Modeling

M. Fereydooni <sup>a</sup>, H. Haji Agha Alizade <sup>b</sup> \*

<sup>a</sup> Ph.D. Student of the Department of Biosystem, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.

<sup>b</sup> Associate Professor of the Department of Biosystem, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 23 August 2021

Accepted: 29 January 2022

## Abstract

**Introduction:** Today, various technologies are used in the field of agriculture. Plasma technology is one of methods that can improve germination without harming the seeds. In this paper, the aim is to investigate the effect of cold plasma based on corona discharge on germination of Adel, Mansur and Azad chickpea varieties.

**Materials and Methods:** Pretreatment samples were exposed to cold plasma for 30 and 60 seconds and examined together with control samples under the same conditions for germination and evaluation of color changes.

**Results:** The results showed that the seeds of Adel and Azad varieties in 30 seconds cold plasma treatment and Mansour variety in 60-seconds cold plasma treatment, had longer root length than the control samples. After statistical analysis, it was found that root length under the same conditions, during cold plasma treatment periods, had a significant difference at the level of 5% compared to the control. On the other hand, by examining the components of color index in the tested samples, no significant change was observed in the samples. The most changes in the ratio of color difference index in samples of Adel variety with 60 seconds of exposure to cold plasma compared to samples with 30 seconds of exposure were calculated to be 1.48%. Also, to observe the color changes of the samples due to plasma, a third degree model was designed in a neural fuzzy environment in 8 regions, which showed minor color changes after learning, with an error of less than 0.01.

**Conclusion:** The results showed that the use of cold plasma treatment can be effective on germination and improve the initial growth of chickpea seeds without causing side effects.

**Keywords:** Cold Plasma, Color, Chickpea, Germination, Modeling.

\* Corresponding Author: h-alizade@basu.ac.ir